

МЕТОД ИНТЕРФЕРЕНЦИИ НА ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКЕ (МЕТОД АТНАШЕВА) (Часть I)

В.Б.Атнашев, А.В.Атнашев, П.В.Атнашев, А.С.Боярченков

Негосударственное образовательное учреждение "Уральский технологический университет"

620049, Екатеринбург, Мира, 23, оф. 213

E-mail: info@utu.ru

Поступила в редакцию 15 февраля 2001 г.

Рассмотрены спектральные характеристики метода интерференции на дифракционной решетке. Определена область спектрального применения для предлагаемого метода. Практически реализована схема селективного выделения стоячей световой волны и преобразования её энергии в электрический сигнал на фоточувствительных штрихах решетки.

Атнашев Виталий Борисович – кандидат технических наук, ректор негосударственного образовательного учреждения "Уральский технологический университет", член-корреспондент Российской экологической академии.

Область научных интересов: спектральный анализ и экологический мониторинг.

Автор более 70 научных публикаций и изобретений.

Атнашев Алексей Витальевич – исполняющий обязанности младшего научного сотрудника негосударственного образовательного учреждения "Уральский технологический университет".

Область научных интересов: спектральный анализ и химические технологии.

Автор одной научной публикации.

Атнашев Павел Витальевич - исполняющий обязанности младшего научного сотрудника негосударственного образовательного учреждения "Уральский технологический университет".

Область научных интересов: спектральный анализ и информационные технологии.

Автор одной научной публикации.

Боярченков Алексей Сергеевич - исполняющий обязанности младшего научного сотрудника негосударственного образовательного учреждения "Уральский технологический университет".

Область научных интересов: спектральный анализ и оптоэлектроника.

Исходное предположение, изложенное в работе [1], заключалось в том, что, на основании выявленных противоположных аппаратных тенденций интерференционного и дифракционного методов спектрометрии, можно сформулировать идею еще одного метода спектрометрии, занимающего промежуточное положение. Авторы назвали предложенный ими новый метод спектрометрии методом интерференции на дифракционной решетке, или методом Атнашева, рассмотрели его основные спектральные характеристики и опробовали одну из схем практической реализации.

Для понимания места предложенного метода среди уже известных необходимо более детальное рассмотрение и сравнение его спектральных характеристик и полученных расчетных параметров с данными других методов спектрометрии. Также необходимо проведение определенного объема поисковых работ, конечным результатом которых должно стать нахождение наиболее оптимальной конструкции спектрофотометра. Этому и посвящено настоящее исследование.

Продолжим рассмотрение спектральных характеристик предложенного метода.

Геометрический фактор [2] (выигрыш Жакино [3])

Для упрощения расчетов представим, что фоточувствительная решетка расположена на плоской стороне плосковыпуклой линзы коллиматора (рис. 1). Диаметр линзы примем равным ширине S решетки, а угол φ между волновым фронтом световой волны и плоскостью решетки на

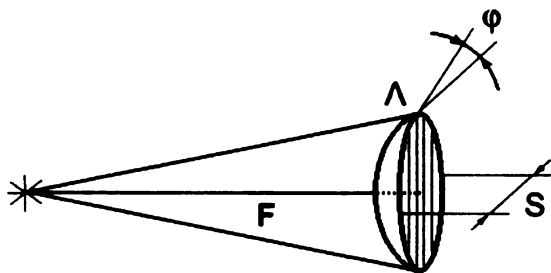


Рис. 1. Коллиматорная система с фоточувствительной решеткой:

φ - угол между плоской поверхностью плосковыпуклой коллиматорной линзы Δ и волновым фронтом светового потока; F - фокусное расстояние; S - ширина фоточувствительной решетки, равная диаметру коллиматорной линзы Δ

Тогда телесный угол Ω коллиматорной линзы, стягиваемой источником, равен

$$\Omega = \frac{\pi S^2}{4F^2}, \quad (1)$$

где F - фокусное расстояние коллиматорной линзы.

Площадь освещенной поверхности A фоточувствительной решетки

$$A = \frac{\pi S^2}{4}. \quad (2)$$

Отсюда геометрический фактор E для предлагаемого спектрофотометра равен

$$E = A \cdot \Omega = \left(\frac{\pi S^2}{4} \right)^2 / F^2, \quad (3)$$

т.е. получили выражение, аналогичное геометрическому фактору для интерферометра Майкельсона [3].

Следует выделить два практических преимущества в светосиле по сравнению с интерферометрами Майкельсона, Фабри-Перо и интерферометрическим спектрометром СИСАМ.

Известно фундаментальное отношение, полученное для интерферометров Майкельсона и Фабри-Перо [2,3]:

$$\mathcal{N} \cdot \Omega = 2\pi, \quad (4)$$

где \mathcal{N} - разрешающая способность интерферометра.

Для спектрометра СИСАМ

$$\mathcal{N} \cdot \Omega = 4\pi, \quad (5)$$

что свидетельствует о гибридной природе этого оптического инструмента [4].

Оценим значение $\mathcal{N} \cdot \Omega$ для нашего случая. Как показано в предыдущей работе [1], разрешающая способность для предложенного метода $\mathcal{N} = 2N$. Запишем это выражение через ширину решетки S и ее период d , полагая, что

$$\mathcal{N} = 2N = \frac{2S}{d}. \quad (6)$$

Тогда

$$\mathcal{N} \cdot \Omega = \frac{2S}{d} \cdot \frac{\pi S^2}{4F^2} = \frac{\pi S^3}{2F^2 d} \quad (7)$$

Подставим численные значения $S = 10$ мм; $d = 0.01$ мм и $F = 100$ мм:

$$\mathcal{N} \cdot \Omega = \frac{\pi \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^4} = 5\pi.$$

При $F = 50$ мм получим $\mathcal{N} \cdot \Omega = 20\pi$.

Второе практическое преимущество обусловлено следующими отличиями. Фоточувствительная решетка так же, как интерферометры Майкельсона, Фабри-Перо и пластинка Люммера-Герке, является дисперсионным прибором с двумерной дисперсией. Площадь штриха фоточувствительной решетки так же, как разность квадратов радиусов соседних интерференционных колец интерферометра Фабри-Перо, является величиной постоянной. Но в интерферометре при фотоэлектрической регистрации используют площадь лишь одного кольца, а в фоточувствительной решетке - всех N штрихов, т.е. половину ее площади.

При грубой оценке этот выигрыш в светосиле можно принять равным отношению площадей круглой (или кольцевой) диафрагмы и фоточувствительной решетки.

Примем $S = 10$ мм, тогда

$$A = \frac{\pi S^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 10^2}{4} = 78.5 \text{ мм}^2.$$

Площадь круглой диафрагмы примем равной $q = 1.5 \text{ мм}^2$ [2].

Тогда

$$\frac{A}{2q} = \frac{78.5}{2 \cdot 1.5} \approx 25.$$

Аппаратная функция

Для нашего случая аппаратной функцией спектрофотометра будем считать распределение энер-

гии стоячей световой волны в плоскости бесконечно тонкого фоточувствительного слоя.

Запишем уравнение стоячей световой волны [5]:

$$s = 2a \cos \left(2\pi \frac{x}{\lambda} + \frac{1}{2} \delta \right) \cdot \sin \left(\omega t + \frac{1}{2} \delta \right), \quad (8)$$

где s - напряженность электрического или магнитного поля; a - амплитуда волны, распространяющейся в направлении x в момент времени t ; ω - круговая частота, равная $\omega = 2\pi/T$ где T - период; λ - длина волны; δ - начальная фаза.

Как показано в работе [1], максимальная напряженность электрического поля, оказывающего энергетическое воздействие на фоточувствительный слой, имеет место при

$$s_1 = 2a \sin \left(2\pi \frac{x}{\lambda} \right). \quad (9)$$

Распределение энергии в направлении x соответственно будет

$$s_1^2 = 4a^2 \sin^2 \left(2\pi \frac{x}{\lambda} \right). \quad (10)$$

Далее рассмотрим сечение нашей системы, в которой ось x совпадает с направлением распространения световой волны, а ось y проходит через фоточувствительную решетку (рис. 2). При этом $x = y/\sin\varphi$.

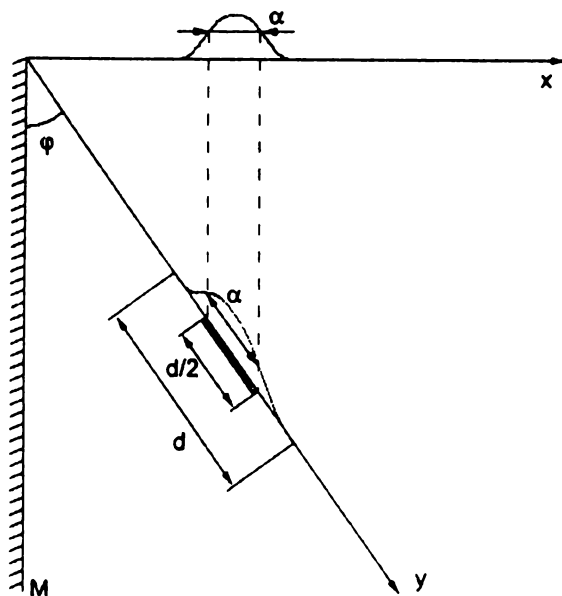


Рис.2. Аппаратная функция спектрофотометра с фоточувствительной решеткой:
 α - ширина аппаратной функции; d - период фоточувствительной решетки; М - отражающее зеркало;
 φ - угол между волновым фронтом светового потока и плоскостью фоточувствительной решетки

Отсюда распределение энергии в направлении y будет иметь следующий вид:

$$s_{1y}^2 = 4a^2 \sin^2 \left(2\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right). \quad (11)$$

На рис. 3 приведена аппаратная функция спектрофотометра с тонким фоточувствительным слоем, расположенным в фокальной плоскости аппарата. Как видно из рисунка, ширина основания равна двойной ширине аппаратной функции и по этим параметрам она близка к аппаратной функции треугольной формы, свойственной для монохроматоров с широкими входной и выходной щелями [2].

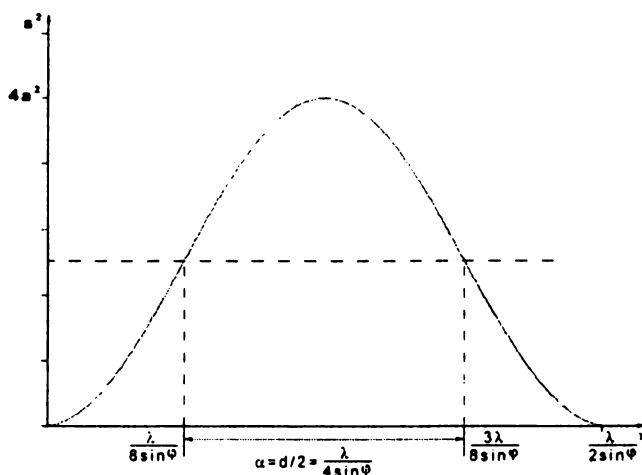


Рис.3. Аппаратная функция спектрофотометра с тонким фоточувствительным слоем, расположенным в фокальной плоскости аппарата (для одного периода стоячей световой волны); α - ширина аппаратной функции

Зная вид аппаратной функции предлагаемого спектрофотометра, легко объяснить, чем определяется ширина интерференционных полос на фотолюминесцентном слое при прохождении через него стоячей световой волны. Фотолюминесцентный слой поглощает энергию электрического поля (11), но в тех же областях фокальной плоскости не взаимодействует с магнитным полем. Поэтому результирующее распределение энергии при воздействии стоячей световой волны на тонкий фотолюминесцентный слой находится с учетом энергии магнитного поля, максимальное значение которой, согласно [1], равно

$$s_{2y}^2 = 4a^2 \cos^2 \left(2\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right). \quad (12)$$

т.е.

$$s_y^2 = s_{1y}^2 - s_{2y}^2 = 4a^2 \sin^2 \left(2\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right) - 4a^2 \cos^2 \left(2\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right) = -4a^2 \cos \left(4\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right) \quad (13)$$

Для тонкой фотолюминесцентной пленки ко-

нечной толщины при рассмотрении результирующего распределения энергии необходимо учесть влияние толщины слоя.

Как было показано в работе [1], за параметр, характеризующий меру воздействия электрического вектора на тонкий фоточувствительный слой при прохождении через него стоячей световой волны, можно принять видность.

Поэтому результирующее распределение энергии при воздействии стоячей световой волны на фотолюминесцентный слой конечной толщины можно записать следующим образом:

$$s_y^2 = V \cdot s_{1y}^2 - s_{2y}^2 = 4a^2 \cos^2 \left(4\pi \frac{h}{\lambda} \right) \cdot \sin^2 \left(2\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right) - 4a^2 \cos^2 \left(2\pi \frac{y \cdot \sin \varphi}{\lambda} \right), \quad (14)$$

где $V = \cos^2 \left(4\pi \frac{h}{\lambda} \right)$ - видность интерференционной картины стоячей световой волны при ее

прохождении через фотолюминесцентный слой толщиной h . При этом сделано допущение, что $\cos \varphi \approx 1$ и толщина фотолюминесцентного слоя равна проекции этого слоя на ось x (рис. 4).

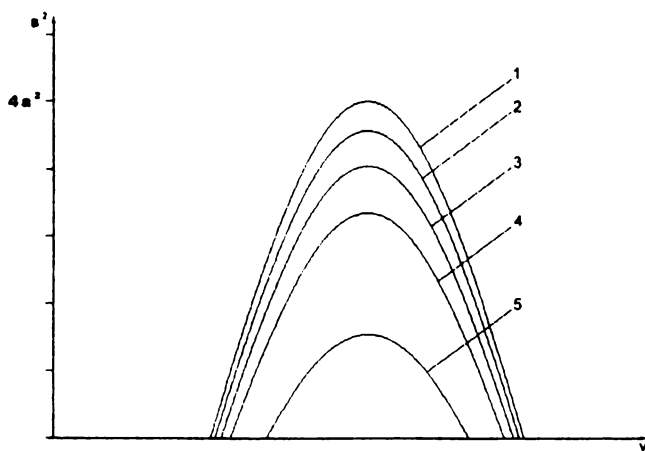


Рис. 4. Результирующее распределение энергии при воздействии стоячей световой волны на тонкий фотолюминесцентный слой при толщине слоя: 1 - 0; 2 - $\lambda/30$; 3 - $\lambda/20$; 4 - $\lambda/15$; 5 - $\lambda/10$

Легко найти связь между шириной аппаратной функции и периодом фоточувствительной решетки с бесконечно тонким фоточувствительным слоем, т.к. ширина основания $\lambda (2 \cdot \sin \varphi) = d$ по определению. Примем ширину фоточувствительного штриха равной половине периода. Тогда

$$\frac{d}{2} = \frac{\lambda}{4 \cdot \sin \varphi} = \alpha, \quad (15)$$

т.е. ширина аппаратной функции α равна ширине фоточувствительного штриха.

Примем, что фоточувствительность каждого штриха решетки одинакова по его ширине. В этом случае результирующее распределение энергии, поглощенной каждым фоточувствительным штрихом решетки, будет иметь вид, приведенный на рис. 5.

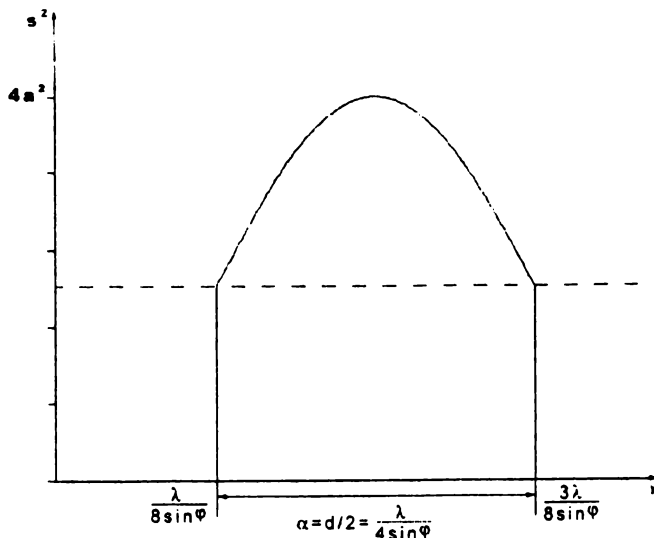


Рис. 5. Результирующее распределение энергии, поглощенной каждым фоточувствительным штрихом решетки

Отношение сигнал/шум [6] (выигрыш Феллджета [3])

В инфракрасной области спектра шум практически не зависит от величины сигнала и определяется шумами приемника. В нашем случае приемником является фоточувствительная решетка состоящая из N фоточувствительных штрихов. Сигнал на выходе фоточувствительной решетки больше в N раз сигнала от одного фоточувствительного штриха. Шум носит случайный характер, он складывается некогерентно, и среднеквадратичное значение шумов возрастает в \sqrt{N} раз.

Поэтому отношение сигнал/шум на выходе решетки равно

$$\frac{C}{\Sigma} = \frac{N}{\sqrt{N}} = \sqrt{N}. \quad (16)$$

Так, например, для фоточувствительной решетки с 1000 штрихами, отношение сигнал/шум возрастает в 30 раз по сравнению с дифракционным прибором. Но по сравнению с интерферометром это отношение меньше, т.к. для последнего $\frac{C}{\Sigma} = \sqrt{N}$ и, в случае $N = 10^4 + 10^6$ будет [3]:

$$\frac{C}{\Sigma} = 10^2 + 10^3.$$

В видимой области, при регистрации энергии отдельных фотонов, величина шума растет про-

порционально мощности сигнала.

В первом приближении примем отношение сигнал/шум, соответствующее теоретически рассчитанному для параллельных плоскополяризованных лучей, падающих на фотоприемник [6], равным

$$\frac{C}{Ш} = \eta \cdot \frac{P}{h\nu \cdot \Delta f},$$

где η - квантовая эффективность электрон/фотон; P - мощность регистрируемого сигнала; $h\nu$ - энергия фотона; Δf - ширина полосы пропускания усилителя.

Таким образом, для фоточувствительной решетки выигрыш Феллджета (возрастание отношения сигнал/шум) соответствует, но в меньшей степени, такому же выигрышу, как и для интерферометра Майкельсона. Еще раз заметим, что данное преимущество распространяется на инфракрасную область спектра.

Линейная дисперсия

Имеются две близко расположенных линии λ и $\lambda + d\lambda$ (рис.6).

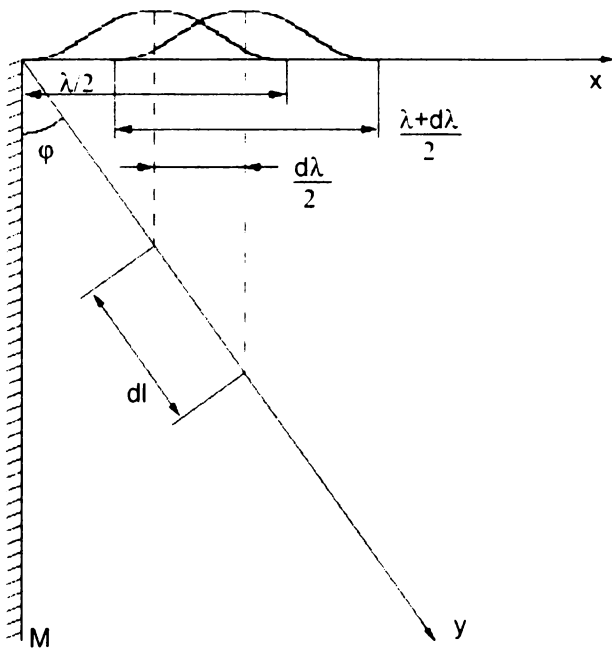


Рис.6. К выводу выражения для линейной дисперсии

Энергия этих длин волн распределяется на пространственно разнесенных участках l и $l + dl$ в плоскости фоточувствительного слоя. Линейная дисперсия находится из соотношения

$$\frac{dl}{d\lambda} = \frac{1}{2\sin\varphi}. \quad (17)$$

В работе [1] было получено выражение для уг-

ловой дисперсии:

$$\frac{d\varphi}{d\lambda} = \frac{1}{2d\cos\varphi}. \quad (18)$$

Найдем связь между этими спектральными характеристиками, учитывая, что

$$\sin\varphi = \frac{\lambda}{2 \cdot d}. \quad (19)$$

Следовательно,

$$\frac{dl}{d\lambda} = \frac{1}{2\lambda \cdot \cos\varphi \cdot \frac{d\varphi}{d\lambda}} \approx \frac{1}{2\lambda \cdot \frac{d\varphi}{d\lambda}}. \quad (20)$$

Исходя из рассчитанных спектральных характеристик попытаемся определить наиболее выигрышную рабочую спектральную область для предлагаемого спектрофотометра.

В инфракрасной области может иметь место преимущество интерферометров за счет большего выигрыша в отношении сигнал/шум и возможности использования тепловых ИК - приемников.

В видимой и ультрафиолетовой областях при проведении эмиссионного и атомно-абсорбционного спектрального анализа с использованием таких атомизаторов, как пламя, графитовая кювета, вольфрамовая спираль, возможно влияние засветок от этих источников излучения, так как светосила спектрофотометра с фоточувствительной решеткой намного превышает светосилу дифракционного прибора.

В ближней ИК и видимой спектральных областях при проведении молекулярного спектрального анализа вероятней всего удастся наиболее полно реализовать имеющиеся преимущества: выигрыш в геометрическом факторе и отношении сигнал/шум: хорошую разрешающую способность и небольшую дисперсию. Добавим к этому малые размеры предлагаемого спектрофотометра, возможность использования уже имеющихся технологий изготовления фотоэлектронных элементов. Все это также подтверждает целесообразность дальнейшей разработки данного типа спектрофотометра.

В заключение можно добавить следующее. В работе [1] авторы попытались определить место предлагаемого спектрофотометра между интерферометром и дифракционным прибором. После рассмотрения спектральных характеристик стало ясно, что область предполагаемого спектрального применения находится также посередине между областью спектрального применения интерферометра (видимый и инфракрасный диа-

пазоны) и областью спектрального применения дифракционного прибора (видимый и ультрафиолетовый диапазоны).

Экспериментальная часть

Изучение распределения энергии стоячей световой волны от толщины фотолюминесцентного слоя

Исследования проводили на экспериментальной установке, описанной в работе [1]. На поверхность плоскопараллельной кварцевой пластинки последовательно наносили в виде капель спиртовой раствор люминола. Пластику помещали в установку и после юстировки получали интерференционную картину.

В работе [1] толщину пленки люминола рассчитывали, исходя из плотности вещества люминола. Это привело к большой ошибке определения, так как исходное вещество имеет рыхлую, ватообразную форму, а его пленка после высыхания спиртового раствора становится намного плотнее. В данной работе сопоставляли толщину пленки люминола, исходя из количества нанесенного раствора. С увеличением толщины пленки люминола визуально наблюдается уменьшение ширины темных полос и их контрастности (рис. 7). Полученные экспериментальные результаты хорошо согласуются с приведенными теоретическими выводами.

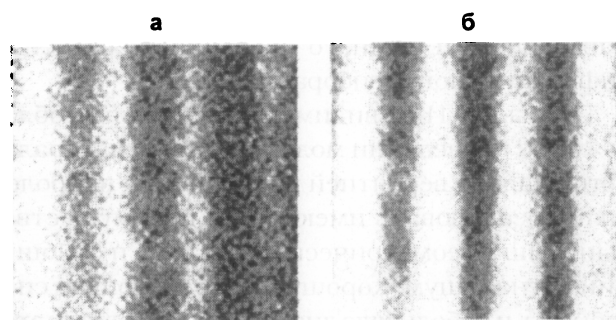


Рис. 7. Интерференционные полосы стоячей световой волны на тонкой пленке люминола:

- а – при толщине пленки, полученной при нанесении одной капли раствора люминола ($C = 0,14$ мг/л);
б – при толщине пленки, полученной при последовательном нанесении 60 капель раствора люминола той же концентрации

Изготовление решетки

Использовали промытые плоскопараллельные кварцевые пластинки размером $20 \times 30 \times 3$ мм³. При промывке руководствовались указаниями, изложенными в работе [7]. Пластику кипятили в течение 15 мин сначала в смеси бидистиллированной воды, перекиси водорода и аммиака в соотношении 7:2:1, а затем в течение 15 мин - в смеси бидистиллированной воды, перекиси во-

дорода и 37 %-ной хлористоводородной кислоты в соотношении 7:2:1. После этого стеклянный стакан с обработанной пластинкой дважды промывали бидистиллированной водой, затем в стакан наливали растворы для осаждения пленки CdS и помещали его в водяной термостат.

Осаждение пленки CdS проводили как описано ранее [1] при времени осаждения 30 мин, включая время нагрева раствора до температуры +70°C. Концентрация исходных растворов составляла: хлористый кадмий ($C_{CdCl} = 0,027$ моль/л), аммиачная вода ($C_{NH_4OH} = 2,67$ моль/л), тиомочевина ($C_{N_2H_4CS} = 0,34$ моль/л). Из полученной пленки изготавливали фоточувствительную решетку по технологии, описанной в работе [1]. Полученную решетку подвергали отжигу в атмосфере воздуха при температуре +450° С в течение 15 мин. Затем на контактные площадки напаивали металлический индий.

Параметры фоточувствительной решетки, используемой в экспериментах, получились следующие:

- высота – 6 мм;
- ширина – 10 мм;
- период – 1 мм;
- фотосопротивление в темноте $R_{m, \text{темн}} = 1,5$ ГОм;
- фотосопротивление при освещении решетки на расстоянии 10 см лампой накаливания мощностью 15 Вт $R_{m, \text{осв}} = 6,6$ МОм;
- отношение $R_{m, \text{темн}} / R_{m, \text{осв}} = 4 \cdot 10^3$.

Совмещение интерференционных полос с фоточувствительными штрихами решетки

Несмотря на то, что нам удалось изготовить фоточувствительную решетку с фотосопротивлением в несколько МОм, что на несколько порядков меньше, чем у предыдущей [1], мы применили способ модуляции, отличный от уже описанного [1]. Это связано с тем, что фоточувствительные пленки CdS обладают очень большой постоянной времени [8]. При использовании способа интерференционной модуляции, даже при скорости перемещения подвижного зеркала приблизительно 1 см/с, частота интерференционной модуляции равна 3 кГц и ее не удастся выделить на предусилителе. Поэтому, для получения положительного результата, было логично перейти в область звуковых частот. Для этого экспериментальную установку оснастили вибропреобразователем типа ВП-1 с электрическим сопротивлением катушек электромагнита 600 Ом (рис.8). К оси металлической мембраны вибропреобразователя припаяли латунную Г-образную пластинку. Пластику приклеили к поверхности зеркала в его нижней части таким образом, чтобы корпус

вибропреобразователя опирался на оптическую скамью. Катушку электромагнита подсоединили к генератору сигналов типа Г4-117. Регистрацию электрического сигнала с фоточувствительной решетки производили с помощью регистрирующего устройства с применением ЭВМ.

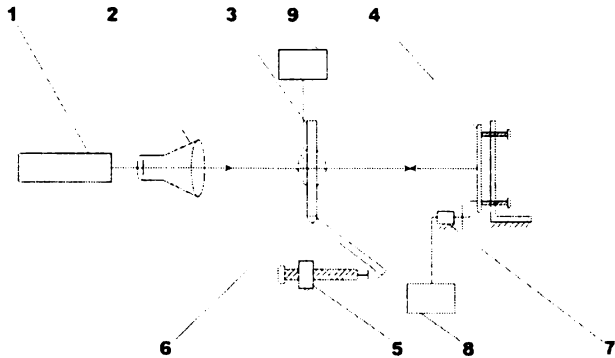


Рис.8. Экспериментальная установка:

- 1 – лазер; 2 – телескоп; 3 – плоскопараллельная кварцевая пластинка; 4 – отражающее зеркало; 5 – синусный механизм; 6 – фоточувствительная решетка; 7 – вибропреобразователь; 8 – генератор электрических сигналов; 9 – регистрирующее устройство

Регистрирующее устройство работает следующим образом. Ток, протекающий через фоточувствительную решетку, усиливается предусилителем с крутизной усиления $1,3 \cdot 10^4$ В/А. Далее сигнал поступает в плату цифрового ввода, выполненную на микросхеме Crystal Semiconductor разрядностью 16 бит. и с частотой 8 кГц переводится в цифровую форму. Затем, используя быстрое преобразование Фурье на массив из 32 К выборок, записывается спектральный состав входного сигнала. Данные оцифровки сигнала поступают из платы цифрового ввода в виде стандартных .wav файлов, что позволяет вести дальнейшую обработку с применением программного обеспечения, предназначенного для обработки звука.

Амплитудно-частотная характеристика предусилителя-равномерная от 10 Гц до 40 кГц, ширина полосы пропускания по уровню -3 дБ – 200 КГц. В области низких частот уровень шумов регистрирующего устройства не превышал -90 дБ, за исключением частот 50 Гц (наводки от сети), 83 Гц и частоты колебаний зеркала. Измерения на первых 2 частотах не проводились, но при обработке результатов измерений уровень наводок сетевого напряжения использовался для контроля корректного функционирования регистрирующего устройства. Как показали измерения, интенсивность этой линии составляла -58 дБ, что свидетельствует о хорошей стабильности рабочих характеристик регистрирующего устройства.

Эффективность совмещения интерференци-

онных полос с фоточувствительными штрихами решетки проверяли следующим образом. На место пластинки с фоточувствительной решеткой устанавливали пластинку с тонким слоем люминола и добивались получения интерференционных полос стоячей световой волны. Затем на катушку электромагнита подавали переменное напряжение от генератора Г4-117 и визуально наблюдали исчезновение интерференционных полос. При этом подводимая электрическая мощность составила 6 мВт.

Экспериментальные результаты

Модулированный сигнал с фоточувствительной решетки получили в диапазоне частот 30-170 Гц. Сначала на одной из частот модуляции указанного диапазона добились максимального сигнала путем юстировки отражающего зеркала и поворота синусного механизма. При этом полагаем, что период интерференционных полос совпадает с периодом фоточувствительной решетки и выполняется условие (19). Затем на выбранных частотах указанного диапазона измеряли полезный электрический сигнал при воздействии стоячей световой волны на фоточувствительную решетку и уровень шума, при перекрытии отражающего зеркала светонепроницаемым экраном. В этом случае интенсивность полезного сигнала превышала уровень шума более чем в 10 раз (рис. 9).

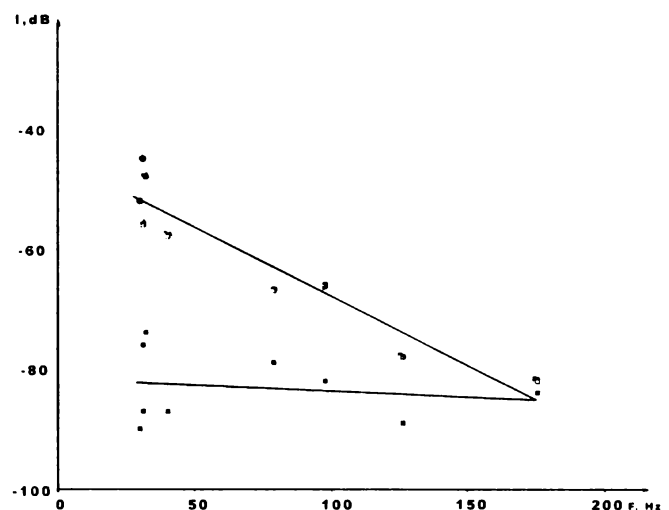


Рис.9. Зависимость уровня выходного электрического сигнала с фоточувствительной решетки от частоты модуляции:

- - уровень полезного сигнала при воздействии стоячей световой волны;
■ - уровень шума

Далее, поворотом синусного механизма изме-

няли угол φ и измеряли полезный электрический сигнал и уровень шума при открытом и закрытом отражающем зеркале. В этом случае интенсивность полезного сигнала превышала уровень шума менее чем в 2 раза.

Авторы выражают благодарность редактору

журнала "Аналитика и контроль", доктору химических наук, профессору В.Н. Музгину; доктору химических наук, профессору А.А. Пупышеву и доктору технических наук Ю.Б. Атнашеву за ряд ценных советов и критических замечаний.

Авторы также признательны К.Д. Ермолину за помощь в оформлении результатов исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атнашев А.В., Атнашев В.Б., Атнашев П.В. Метод интерференции на дифракционной решетке (Метод Атнашева)/Под ред. Ю.Б.Атнашева. Приложение к журналу "Аналитика и контроль". Екатеринбург, 2000. 24 с.
2. Малышев В.И. Введение в экспериментальную спектроскопию. М.: Наука, 1979. 478 с.
3. Белл Дж. Введение в Фурье- спектрометрию: Пер. с англ. М.: Мир, 1975. 380 с.
4. Jacquinot. P. New developments in interference

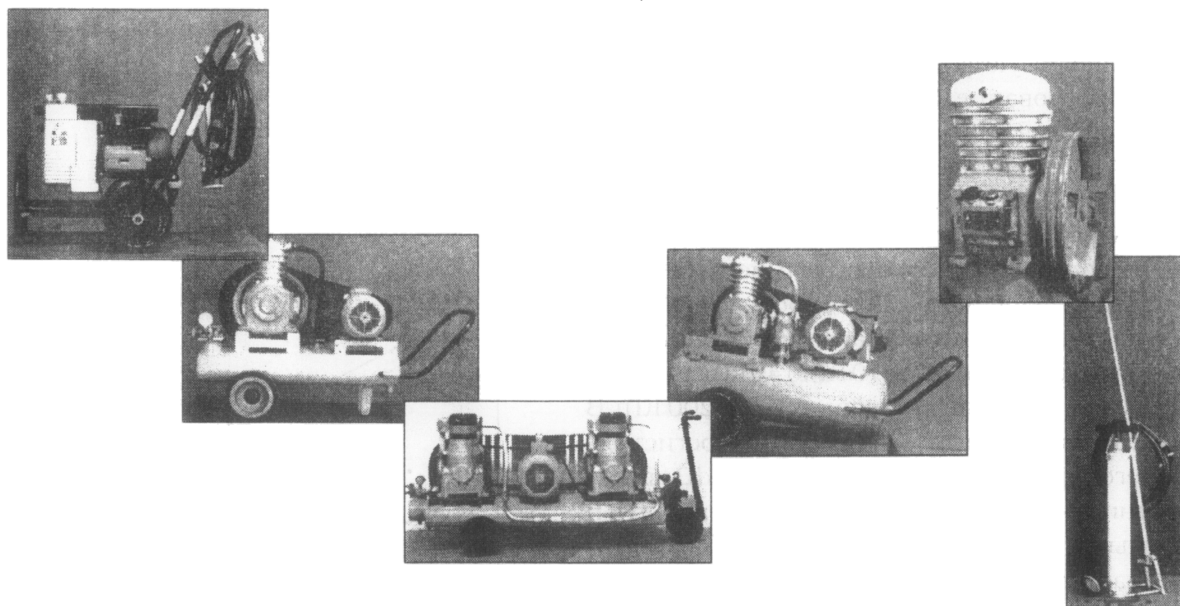
spectroscopy // Report on Prog. Phys. 1960. № 23. P.267-312.

5. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука. 1976. 926 с.
6. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов / Под ред. Р. Киеса. М.: Радио и связь, 1985. 328 с.
7. Интегральная оптика / Под ред. Т.Тамира. М.: Мир, 1978. 344 с.
8. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения. М.: Машиностроение, 1987. 264 с.

* * * * *

КОМПРЕССОРНАЯ ТЕХНИКА

со склада в Заречном.



НПО "Аналитика и контроль"

624051. Свердловская обл., г. Заречный. ул. Мира 35. оф.104 - 110.

тел./факс (34377) 7-41-02. 3-98-15

e-mail: analitics@uralnet.ru